

**KAJIAN POTENSI SUNGAI CURUK UNTUK PEMBANGKIT LISTRIK  
TENAGA MIKRO HIDRO (PLTMH) DI PADUKUHAN GOROLANGU,  
KAB. KULON PROGO, YOGYAKARTA**

Paper Tugas Akhir

Oleh :  
Dody Andri Setyawan  
NPM. : 10 02 13566



**PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS ATMA JAYA YOGYAKARTA  
YOGYAKARTA  
OKTOBER 2014**

## 1. PENDAHULUAN

Pada tahun 2006, Presiden mengeluarkan peraturan mengenai kebijakan energi untuk mengurangi penggunaan bahan bakar fosil dalam penyediaan listrik nasional. Solusinya dengan penggunaan energi terbarukan sebagai alternatif pengganti bahan bakar fosil yang jumlahnya semakin langka dan mahal. Salah satu energi terbarukan yang jumlah berlimpah adalah aliran air sungai. Aliran sungai ini dapat dimanfaatkan sebagai Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH).

Menurut data statistik Dirjen Energi yang Terbarukan dan Konservasi Energi (EBTKE) tahun 2010, Pulau Jawa memiliki banyak potensi tenaga air yang belum dimanfaatkan sebagai tenaga listrik. Dari total potensi tenaga air sebesar 4.200 MW, hanya terpasang PLTMH dengan kapasitas 41,793 MW. Pemanfaatan potensi tenaga air sebesar 1 % ini menunjukkan bahwa di Pulau Jawa masih banyak lokasi berpotensi yang dapat dimanfaatkan sebagai pembangkit listrik.

Salah satu lokasi berpotensi untuk PLTMH terdapat di Padukuhan Gorolangu, Desa Sidoharjo, Kecamatan Samigaluh, Kabupaten Kulon Progo, Daerah Istimewa Yogyakarta. Pemilihan lokasi penelitian ini didasarkan adanya Sungai Curuk yang mengalir air terjun setinggi 76 meter. Warga biasanya memanfaatkan Sungai Curuk untuk mengairi sawah melalui saluran irigasi yang dibangun secara swadaya. Selain membangun saluran pembawa, warga juga membangun bendung untuk menaikkan muka air Sungai Curuk.

Secara administrasi, wilayah Air Terjun Curuk terletak di Padukuhan Gorolangu. Jarak antar air terjun dan padukuhan yang terdiri dari 60 kepala keluarga ini sekitar satu kilometer. Selain 60 KK, kebutuhan listrik Padukuhan Gorolangu terdiri atas satu bangunan sekolah dasar, masjid, dan gereja

Penelitian ini bertujuan mengetahui potensi pembangunan PLTMH pada lokasi tersebut, maka dilakukan perhitungan daya listrik terbangkitkan yang dapat memenuhi kebutuhan listrik Padukuhan Gorolangu. Dalam mengetahui daya listrik terbangkitkan, parameter yang perlu diketahui antara lain: debit andalan Sungai Curuk, tinggi jatuh efektif (*head* efektif), dan efisiensi sistem.

## 2. TINJAUAN PUSTAKA

Semakin besar daya yang terbangkitkan maka semakin banyak kebutuhan listrik yang dipenuhi, sehingga besarnya daya listrik yang terbangkitkan sangat mempengaruhi besarnya potensi pemanfaatan PLTMH pada lokasi tersebut. Konsep dasar PLTMH adalah menyerap tenaga dari ketinggian dan aliran sungai kemudian mengubah tenaga tersebut dalam bentuk tenaga listrik.

$$P_{\text{terbangkit}} = g \times H_{\text{efektif}} \times Q \times \eta \dots\dots\dots(2-1)$$

dengan :

P	= Daya listrik yang mungkin terbangkitkan (kW)
g	= Gravitasi dengan nilai 9,8 m/s <sup>2</sup>
H	= <i>Head</i> efektif (m)
Q	= Debit aliran sungai (m <sup>3</sup> /s)
η	= efisiensi sistem

## A. Debit Andalan

Debit andalan merupakan debit minimum (terkecil) yang digunakan untuk operasional PLTMH. Pada umumnya perhitungan debit andalan untuk desain bangunan air di Indonesia menggunakan Metode Mock, NRECA, dan Tank Model. Berdasarkan pengalaman lapangan, Metode Mock merupakan metode yang direkomendasikan untuk mendukung desain.

### Metode Mock

Metode Mock (1973) menyatakan bahwa hujan yang jatuh pada daerah tangkapan air, sebagian akan hilang akibat evapotranspirasi. Sebagian akan langsung menjadi *direct runoff* dan sebagian lagi akan masuk ke dalam tanah atau terjadi infiltrasi. Infiltrasi ini akan menjenuhkan tanah, kemudian terjadi perkolasi dan air keluar melalui *base flow*.

$$Q_n = \frac{A \cdot TRO \cdot 1000}{H \cdot 24 \cdot 3600} \dots\dots\dots(2-2)$$

dengan  $Q_n$  = Debit yang tersedia bulan n ( $m^3/s$ )  
 $TRO$  = Total Limpasan (mm/bulan)  
 $A$  = Luas DAS ( $km^2$ )  
 $H$  = jumlah hari dalam satu bulan perhitungan

Total Limpasan (TRO) dihitung dengan rumus :

$$TRO = BSF + DRO + SRO \dots\dots\dots(2-3)$$

$$BSF = i - (GWS - IGWS) \dots\dots\dots(2-4)$$

$$GWS = 0,5 \times (1+k) \times i + k \times IGWS \dots\dots\dots(2-5)$$

$$DRO = WS - i \dots\dots\dots(2-6)$$

$$WS = (P - ETo) - SS \dots\dots\dots(2-7)$$

$$SS = SM_n - SM_{n-1} \dots\dots\dots(2-8)$$

$$SM = SMC \quad \text{jika } (ISM + (P - ETo)) > SMC \dots\dots\dots(2-9)$$

$$SM = (ISM + (P - ETo)) \quad \text{jika } (ISM + (P - ETo)) < SMC$$

$$i = WS \times if \dots\dots\dots(2-10)$$

$$SRO = P \times PF \dots\dots\dots(2-11)$$

dengan  $TRO$  = *total runoff* / aliran total (mm/bln)  
 $BSF$  = aliran dasar (mm/bln)  
 $DRO$  = aliran langsung (mm/bln)  
 $SRO$  = *storm run off* (mm/bln)  
 $GWS$  = *ground water storage* (mm/bln)  
 $IGWS$  = *initial ground water storage* (mm/bln))  
 $k$  = koefisien resesi air tanah  
 $WS$  = *water surplus* (mm/bln)  
 $SS$  = tampungan tanah (*soil storage*)  
 $P$  = hujan (mm/bln)  
 $ETo$  = evapotranspirasi potensial (mm/bln)  
 $SM_n$  = *soil Moisture* (mm)  
 $SM_{n-1}$  = *soil Moisture* bulan sebelumnya (mm)

- SMC = *soil Moisture Capacity* (mm)  
 ISM = *initial Soil Moisture* (mm)  
 i = infiltrasi (mm/bln)  
 if = koefisien infiltrasi terdiri dari DIC (bulan kering) dan WIC (bulan kering)  
 P = hujan (mm/bln)  
 PF = *percentage Factor*, merupakan persen hujan yang menjadi limpasan. Besarnya PF oleh Mock disarankan 5% - 10%, namun tidak menutup kemungkinan untuk meningkat secara tidak beraturan hingga mencapai 37,3%.

### Curah Hujan

Perhitungan curah hujan rata-rata mempertimbangkan luas daerah hujan yang telah dibagi melalui Poligon Thiessen. Rumus yang digunakan dalam menghitung curah hujan rata-rata :

$$\bar{R} = \frac{(R_1A_1)+(R_2A_2)+(R_3A_3)+\dots+(R_nA_n)}{(A_1+A_2+A_3+\dots+A_n)} \dots\dots\dots (2-12)$$

- dengan : R = Curah hujan rata-rata pada suatu daerah. (mm)  
 R<sub>1</sub>,R<sub>2</sub>,...,R<sub>n</sub> = Curah hujan pada stasiun 1,2,...,n (mm)  
 A<sub>1</sub>,A<sub>2</sub>,...A<sub>n</sub> = Luas stasiun 1, luas stasiun 2, ... , luas stasiun n (km<sup>2</sup>)  
 N = Jumlah stasiun yang mewakili DAS suatu sungai

### Evapotranspirasi Aktual

Evapotranspirasi aktual merupakan evapotranspirasi yang terjadi pada kondisi air yang tersedia terbatas. Evapotranspirasi aktual dipengaruhi oleh proporsi permukaan luar yang tidak tertutupi tumbuhan hijau (*exposed surface*) dan jumlah hari hujan (n).

$$Ea = ET_o - \left( ET_o \left[ \frac{m}{20} \right] (18 - n) \right) \dots\dots\dots (2-13)$$

- dengan Ea = Evapotranspirasi aktual (mm)  
 ET<sub>o</sub> = Evapotranspirasi potensial (ET<sub>o</sub>)  
 n = Jumlah hari hujan  
 m = *Exposed Surface*

**Tabel 2.1 Exposed Surface**

No.	M	Daerah
1	0 %	Hutan primer, sekunder
2	10-40 %	Daerah tererosi
3	30-50 %	Daerah ladang pertanian

(Sumber : Sudirman, 2002)

Dalam perhitungan ET<sub>o</sub> digunakan Metode Penman Monteith (persamaan 2-14).

$$ET_o = \frac{0.408\Delta(R_n-G)+\gamma\frac{900}{T+273}u_2(e_s-e_a)}{\Delta+\gamma(1+0.34u_2)} \dots\dots\dots (2-14)$$

$$u = u_z \frac{4.87}{\ln(67.8z-5.42)} \dots\dots\dots(2-15)$$

$$\Delta = \frac{4098 \left[ 0.6108 \exp \left( \frac{17.27 T}{T+237.3} \right) \right]}{(T+237.3)^2} \dots\dots\dots(2-16)$$

$$\gamma = 0.665 \times 10^{-3} P \dots\dots\dots(2-17)$$

$$P = 101.3 \left( \frac{293-0.0065z}{293} \right)^{5.26} \dots\dots\dots(2-18)$$

$$e_s = \frac{e^o(T_{max}) + e^o(T_{min})}{2} \dots\dots\dots(2-19)$$

$$e_a = \frac{e^o(T_{min}) \frac{RH_{max}}{100} + e^o(T_{max}) \frac{RH_{min}}{100}}{2} \dots\dots\dots(2-20)$$

$$e^o(T) = 0.6108 \exp \left[ \frac{17.27T}{T+237.3} \right] \dots\dots\dots(2-21)$$

$$G_{month,i} = 0.14 (T_{month,i} - T_{month,i-1}) \dots\dots\dots(2-22)$$

$$R_n = R_{ns} - R_{nl} \dots\dots\dots(2-23)$$

$$R_{ns} = (1 - \alpha) R_s \dots\dots\dots(2-24)$$

$$R_s = \left( a_s + b_s \frac{n}{N} \right) R_a \dots\dots\dots(2-25)$$

$$N = \frac{24}{\pi} \omega_s \dots\dots\dots(2-26)$$

$$R_a = \frac{24(60)}{\pi} G_{sc} d_r [\omega_s \sin(\varphi) \sin(\delta) + \cos(\delta) \sin(\omega_s)] \dots\dots\dots(2-27)$$

$$d_r = 1 + 0.033 \cos \left( \frac{\pi}{365} J \right) \dots\dots\dots(2-28)$$

$$\delta = 0.409 \sin \left( \frac{2\pi}{365} J - 1.39 \right) \dots\dots\dots(2-29)$$

$$\omega_s = \arccos[-\tan(\varphi) \tan(\delta)] \dots\dots\dots(2-30)$$

$$R_{nl} = \sigma \left[ \frac{T_{max,K^4} + T_{min,K^4}}{2} \right] (0.34 - 0.14 \sqrt{e_a}) \left( 1.35 \frac{R_s}{R_{so}} - 0.35 \right) \dots\dots\dots(2-31)$$

$$R_{so} = (0.75 + 2 \times 10^{-5} z) R_a \dots\dots\dots(2-32)$$

- dengan:
- ET<sub>o</sub> = evapotranspirasi potensial [mm day<sup>-1</sup>]
  - R<sub>n</sub> = radiasi netto pada permukaan tanaman [MJ m<sup>-2</sup> day<sup>-1</sup>]
  - G = soil heat flux density [MJ m<sup>-2</sup> day<sup>-1</sup>]
  - T = temperatur rata-rata harian pada ketinggian 2 m [°C]
  - e<sub>s</sub> = saturation vapour pressure [kPa]
  - e<sub>a</sub> = actual vapour pressure [kPa]
  - e<sub>s</sub>-e<sub>a</sub> = saturation vapour pressure deficit [kPa]
  - γ = tetapan psikrometrik [kPa °C<sup>-1</sup>]
  - u = kecepatan angin [m s<sup>-1</sup>]
  - u<sub>z</sub> = kecepatan angin pada ketinggian z m di atas permukaan tanah [m s<sup>-1</sup>]
  - z = ketinggian terukur di atas permukaan laut [m]

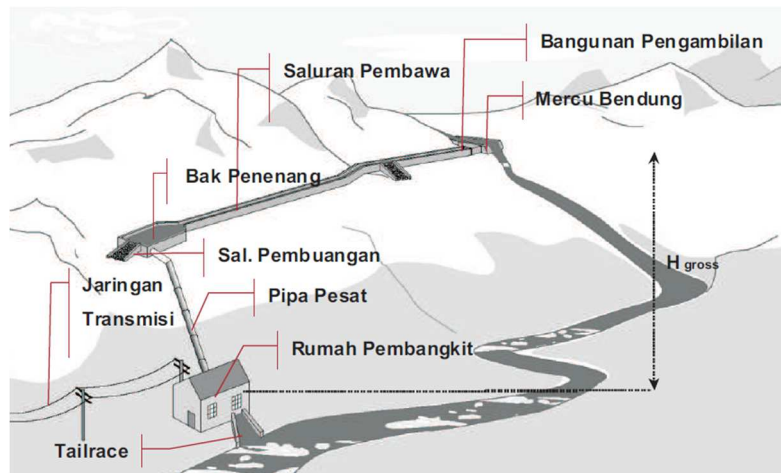
$\Delta$	= <i>slope of saturation vapour pressure curve</i> [kPa °C <sup>-1</sup> ]
T	= temperatur udara [°C]
$\gamma$	= tetapan psikrometrik [kPa °C <sup>-1</sup> ]
P	= tekanan atmosfer [kPa]
z	= ketinggian terukur di atas permukaan laut [m]
$e^o(T_{\min})$	= <i>saturation vapour pressure</i> pada temperatur minimum harian [kPa]
$e^o(T_{\max})$	= <i>saturation vapour pressure</i> pada temperatur maksimum harian [kPa]
RH <sub>max</sub>	= kelembaban relatif maksimum [%]
RH <sub>min</sub>	= kelembaban relatif minimum [%]
T <sub>month,i</sub>	= temperatur udara rata-rata pada bulan ke-i [°C]
T <sub>month,i-1</sub>	= temperatur udara rata-rata pada bulan sebelumnya [°C]
R <sub>ns</sub>	= <i>net solar or shortwave radiation</i> [MJ m <sup>-2</sup> day <sup>-1</sup> ]
R <sub>nl</sub>	= <i>net outgoing longwave radiation</i> [MJ m <sup>-2</sup> day <sup>-1</sup> ]
R <sub>ns</sub>	= <i>net solar or net shortwave radiation</i>
R <sub>s</sub>	= <i>solar or shortwave radiation</i> [MJ m <sup>-2</sup> day <sup>-1</sup> ]
N	= lama sinar matahari aktual [hour]
n	= <i>daylight hours</i> [hour]
n/N	= lama penyinaran matahari relatif [-]
R <sub>a</sub>	= <i>extraterrestrial radiation</i> [MJ m <sup>-2</sup> day <sup>-1</sup> ]
a <sub>s</sub>	= konstanta regresi, menunjukkan fraksi dari <i>extraterrestrial radiation</i> yang sampai ke bumi pada saat cuaca mendung (n=0), rekomendasi nilai a <sub>s</sub> = 0,25
b <sub>s</sub>	= fraksi dari <i>extraterrestrial radiation</i> yang sampai ke bumi pada saat cuaca cerah (n=N), rekomendasi nilai b <sub>s</sub> = 0.50
G <sub>sc</sub>	= <i>solar constant</i> = 0.0820 MJ m <sup>-2</sup> min <sup>-1</sup>
d <sub>r</sub>	= <i>inverse relative distance Earth-Sun</i>
$\delta$	= <i>solar declination</i> [rad]
$\omega_s$	= <i>sunset hour angle</i> [rad]
$\Phi$	= <i>latitude</i> [rad]
R <sub>nl</sub>	= <i>net outgoing longwave radiation</i> [MJ m <sup>-2</sup> day <sup>-1</sup> ]
$\sigma$	= tetapan Stefan-Boltzmann [ 4.903x10 <sup>-9</sup> MJ K <sup>-4</sup> m <sup>-2</sup> day <sup>-1</sup> ]
T <sub>max,K</sub>	= temperatur absolut maksimum [K=°C+273.16]
T <sub>min,K</sub>	= temperatur absolut minimum [K=°C+273.16]
R <sub>s</sub> /R <sub>so</sub>	= <i>relative shortwave radiation</i> (≤ 1.0)
R <sub>so</sub>	= <i>clear-sky radiation</i> [MJ m <sup>-2</sup> day <sup>-1</sup> ]

## B. Tinggi Jatuh Efektif (*Head Efektif*)

Tinggi jatuh efektif merupakan perbedaan ketinggian (elevasi) muka air antara rencana bak penenang (*forebay*) dan as turbin di *power house* dikurangi dengan kehilangan energi. Untuk mengukur perbedaan tinggi itu maka perlu mengetahui elevasi *forebay* dan turbin. Elevasi dari lokasi bangunan sipil tersebut dapat diketahui dengan representasi lokasi komponen PLTMH.

### Representasi lokasi komponen PLTMH

Dalam mengetahui elevasi *forebay* dan *power house* dilakukan representasi lokasi komponen pada pemodelan 3 dimensi. Dalam melakukan representasi, diusahakan menpatakan lokasi komponen PLTMH seperti pada gambar 2.1. Pemodelan 3 dimensi dibuat berdasarkan peta topografi lokasi penelitian. Adapun dalam proses penggambarannya dibantu *software* AutoCAD 2013 dan Google SketchUp.



**Gambar 2.1 Bagian-bagian dari skema PLTMH**

### Kehilangan Energi

Kehilangan energi terjadi karena adanya perubahan tekanan dan ketinggian suatu tempat. Adapun perubahan tekanan yang terjadi diakibatkan oleh gaya gesek dan berat. Kehilangan energi aliran pada pipa lingkaran dihitung dengan persamaan Darcy-Weisbach :

$$H_f = f \cdot \left(\frac{L}{D}\right) \cdot \left(\frac{V^2}{2g}\right) \dots\dots\dots (2-33)$$

$$D = 2,69 \left(\frac{n^2 \cdot Q^2 \cdot L}{H}\right)^{0,1875} \dots\dots\dots (2-34)$$

dengan	$H_f$	= Kehilangan energi
	$Q$	= Kecepatan aliran ( $m/s^2$ )
	$D$	= Diameter pipa (m)
	$g$	= Gravitasi ( $m/s^2$ )
	$L$	= Panjang pipa <i>penstock</i> (m)
	$f$	= Koefisien gesekan (Grafik Moody)
	$H$	= <i>Head</i> (m)
	$n$	= Koefisien material

### C. Efisiensi Sistem

Efisiensi merupakan penggunaan tenaga yang minimum namun memperoleh hasil optimum. Perhitungan efisiensi sistem PLTMH dihitung dengan rumus :

$$E_o = E_{konstruksi\ sipil} \times E_{penstock} \times E_{sistem\ kontrol} \times E_{generator} \times E_{turbin} \times E_{jaringan} \times E_{trafo}$$

dengan:	$E_{konstruksi\ sipil}$	= $1.0 - (\text{panjang saluran} \times 0.002 \sim 0.005) / H_{gross}$
	$E_{penstock}$	= $0.90 \sim 0.95$ (tergantung pada panjangnya)
	$E_{turbin}$	= $0.70 \sim 0.85$ (tergantung pada tipe turbin)
	$E_{generator}$	= $0.80 \sim 0.95$ (tergantung pada kapasitas generator)
	$E_{sistem\ kontrol}$	= $0.97$
	$E_{jaringan}$	= $0.90 \sim 0.98$ (tergantung pada panjang jaringan)
	$E_{trafo}$	= $0.9$
	$E_o$	= Efisiensi sistem

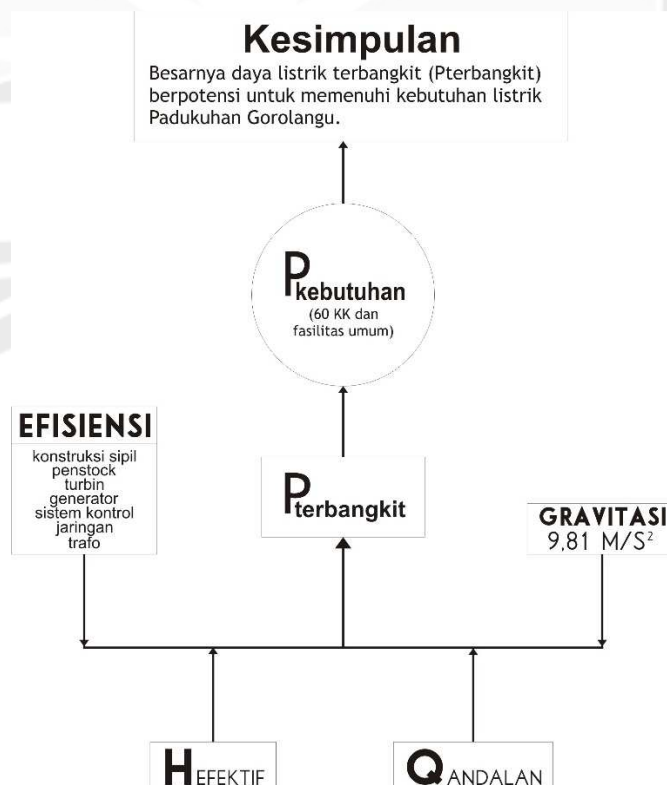
### 3. METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian ini bertujuan mengetahui potensi Sungai Curuk untuk Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH). Potensi tersebut diketahui dari besarnya daya listrik terbangkitkan yang dapat memenuhi kebutuhan listrik Padukuhan Gorolangu. Daya listrik yang mungkin terbangkitkan diperoleh dari perkalian debit andalan ( $Q$ ), tinggi jatuh efektif ( $H_{eff}$ ), efisiensi sistem, dan gaya gravitasi ( $g$ ).

Debit andalan Sungai Curuk dihitung dengan Metode Mock. Dalam perhitungan debit Sungai Curuk ada beberapa parameter yang belum diketahui (IGWS, SMC, ISM,  $k$ , DIC, dan WIC), sehingga untuk mencarinya dilakukan pendekatan perhitungan debit dengan Metode Mock pada DAS lain yang memiliki debit terukur. Perhitungan ini ditujukan untuk mendapatkan optimasi nilai IGWS, SMC, ISM,  $k$ , DIC, dan WIC melalui aplikasi solver pada Microsoft Excel. Setelah nilai optimasi tersebut didapat, selanjutnya nilai itu digunakan dalam perhitungan debit pada Sungai Curuk.

Tinggi jatuh efektif diperoleh dari selisih elevasi *forebay* dengan elevasi *power house* yang dikurangi dengan kehilangan energi. Elevasi *forebay* ataupun *power house* diperoleh dari representasi lokasi komponen PLTMH pada pemodelan 3 dimensi lokasi penelitian. Pemodelan 3 dimensi dibuat dengan bantuan *software* AutoCAD 2013 dan Google SketchUp.

Sedangkan efisiensi sistem terdiri dari efisiensi trafo, jaringan, konstruksi, *penstock*, turbin, generator, dan sistem kontrol. Setelah debit andalan, *head* efektif, efisiensi sistem diperoleh, besarnya daya listrik terbangkit dapat diketahui. Daya listrik terbangkit ini akan digunakan untuk memenuhi kebutuhan listrik Padukuhan Gorolangu.



Gambar 3.1 Bagan Alir Penelitian



## 4. HASIL DAN PEMBAHASAN

### A. Debit Andalan

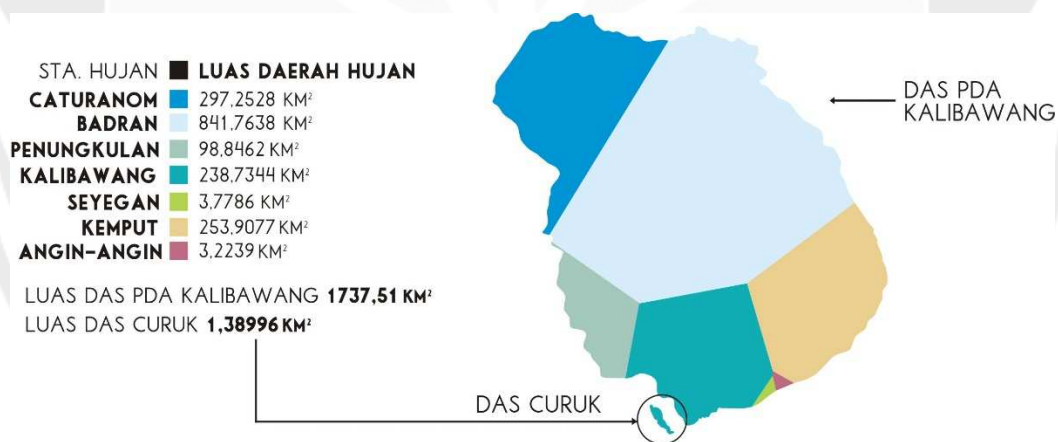
Parameter yang digunakan dalam perhitungan debit andalan terdiri dari hujan, evapotranspirasi, *soil moisture* (SMC), *initial soil moisture* (ISM), koefisien resesi aliran tanah (*k*), *initial ground water storage* (IGWS), serta koefisien infiltrasi bulan basah dan kering (WIC dan DIC). Pada Daerah Aliran Sungai Curuk tidak ditemukan data SMC, ISM, *k*, IGWS, WIC, dan DIC, sehingga beberapa parameter tersebut dicari dengan pendekatan pada DAS terdekat yang memiliki debit terukur. DAS terdekat yang dipilih adalah DAS Kalibawang (Gambar 4.1)

Pendekatan yang dimaksud adalah mengasumsikan nilai SMC, ISM, *k*, IGWS, WIC, dan DIC pada DAS Kalibawang dengan DAS Curuk. Nilai SMC, ISM, *k*, IGWS, WIC, dan DIC pada DAS Kalibawang dicari melalui aplikasi solver dalam Microsoft Excel. Hasil solver itu kemudian digunakan dalam perhitungan debit pada Sungai Curuk.

#### A.1. Hujan

Perhitungan curah hujan rata-rata dilakukan dua kali. Pertama pada DAS Curuk untuk mendapat debit Sungai Curuk melalui Metode Mock. Kedua pada DAS Kalibawang untuk mendapatkan nilai optimasi dari parameter yang belum diketahui. Dalam mengetahui luas daerah hujan setiap stasiun digunakan Poligon Thiessen.

DAS Kalibawang diwakili oleh tujuh stasiun hujan (Badran, Penungkulan, Seyegan, Kalibawang, Angin-Angin, Kempt, dan Caturanom), sedangkan DAS Curuk diwakili oleh stasiun hujan Kalibawang saja (Gambar 4.1). Hasil perhitungan curah hujan rata-rata DAS Kalibawang dan Curuk ditunjukkan pada tabel 4.1 dan 4.2.



Gambar 4.1 Pembagian Luas Daerah Hujan DAS Curuk dan Kalibawang

Tabel 4.1 Rekap Curah Hujan DAS Kalibawang (mm/bulan)

Tahun	JAN	FEB	MARET	APRIL	MEI	JUNI	JULI	AGUST	SEPT	OKTBR	NOV	DES
	31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31
2001	325,08	365,71	495,76	303,70	98,51	86,99	156,13	3,89	21,06	498,57	510,09	137,62
2002	448,43	403,79	300,89	293,08	115,42	16,16	3,08	0,00	0,80	0,18	58,67	375,85
2003	348,79	529,35	407,97	89,24	125,28	12,52	0,00	0,00	5,39	127,56	314,00	421,45
2004	420,42	298,40	294,86	76,37	106,37	24,53	40,54	2,80	3,25	9,52	192,02	386,20
2005	312,21	373,22	233,81	240,33	100,89	100,40	35,23	2,41	20,94	100,76	134,72	411,10
2006	510,41	344,62	271,17	317,21	236,59	5,29	4,77	0,83	5,60	6,59	90,90	462,24
2007	132,51	295,07	278,43	320,00	104,90	106,72	21,27	0,32	0,11	53,05	181,01	527,20
2008	234,51	227,79	299,23	263,30	152,22	11,60	0,00	2,56	2,78	226,60	370,15	220,11

**Tabel 4.2 Rekap Curah Hujan DAS Curuk (mm/bulan)**

Tahun	JAN	FEB	MARET	APRIL	MEI	JUNI	JULI	AGUST	SEPT	OKTBR	NOV	DES
	31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31
2001	214,10	254,00	224,10	283,00	137,50	51,00	42,00	0,00	22,00	380,00	422,00	170,00
2002	348,00	448,00	220,00	234,00	71,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	70,00	425,50
2003	403,00	546,00	607,00	55,50	47,50	30,00	0,00	0,00	0,00	70,00	261,00	269,50
2004	363,00	233,66	305,50	47,00	138,00	10,00	3,00	0,00	0,00	22,00	238,00	445,00
2005	278,00	173,00	154,00	153,00	0,00	27,00	16,00	3,00	23,00	136,00	190,00	350,50
2006	383,63	374,00	227,50	345,20	193,30	6,50	0,00	3,00	23,50	0,00	0,00	377,80
2007	114,00	400,70	213,50	335,00	57,50	42,50	0,00	1,50	0,00	57,90	172,20	388,70
2008	217,20	400,70	213,50	335,00	57,50	0,00	0,00	1,50	0,00	224,20	583,80	88,70

### A.2. Evapotranspirasi Aktual

Parameter yang digunakan dalam perhitungan Evapotranspirasi aktual terdiri dari jumlah hari hujan, *exposed surface*, dan evapotranspirasi potensial ( $ET_o$ ). Adapun data yang dibutuhkan dalam perhitungan  $ET_o$  antara lain: temperatur udara (rata-rata, minimum, dan maksimum), lama penyinaran matahari, kecepatan angin, dan kelembaban relatif (maksimum dan minimum). Hasil perhitungan evapotranspirasi potensial DAS Curuk dan Kalibawang sama, namun nilai *exposed surface*nya berbeda. *Exposed Surface* DAS Curuk yang banyak didominasi oleh hutan sama dengan 0, sedangkan *exposed surface* DAS Kalibawang sebesar 16,53 %.

1. Contoh Perhitungan Evapotranspirasi aktual ( $E_a$ ) DAS Kalibawang (tahun 2005)

Evapotranspirasi Potensial ( $ET_o$ ) = 132,2082 mm

*Exposed Surface* (m) = 16,53%

Jumlah Hari Hujan (n) = 17

$E_a = ET_o - (ET_o (m/2) (18-n))$

= 132,2082 – (132,2082 (0,1653/2) (28-27))

= 121,2812 mm

2. Perhitungan Evapotranspirasi aktual ( $E_a$ ) DAS Curuk

Nilai *exposed surface* (m) pada DAS Curuk sama dengan 0, sehingga besarnya Evapotranspirasi Aktual ( $E_a$ ) sama dengan Evapotranspirasi Potensial ( $ET_o$ ).

### A.3. Optimasi Nilai SMC, ISM, k, IGWS, WIC, dan DIC

Langkah pertama, formula perhitungan debit DAS Kalibawang dibuat sesuai Metode Mock, serta memasukan data hujan, evapotranspirasi dan debit terukur. Tahap berikutnya melakukan kalibrasi. Kalibrasi bertujuan untuk mendapat nilai optimum IGWS, SMC, ISM, k, DIC, dan WIC dengan bantuan aplikasi solver dalam Microsoft Excel. Kalibrasi dilakukan dari tahun 2001 sampai 2004.

Setelah dikalibrasi selama empat tahun, dilakukan verifikasi untuk mengetahui apakah parameter-parameter yang dicari sudah sesuai dengan karakteristik DAS. Dalam tahapan verifikasi, nilai IGWS, SMC, ISM, k, DIC, dan WIC yang sudah didapat dari tahap kalibrasi (2001-2004) digunakan dalam perhitungan debit pada tahun 2004 sampai 2008. Nilai parameter-parameter tersebut dikatakan sesuai, jika grafik debit terukur hampir sama dengan debit terhitung (2004-2008). Jika grafik belum sesuai, dilakukan kalibrasi lagi hingga grafik debit terukur hampir sama dengan debit terhitung. Hasil optimisasi nilai IGWS, SMC, ISM, k, DIC, dan WIC dapat dilihat pada tabel 4.3.

**Tabel 4.3 Nilai Optimasi k, IGWS, WIC, DIC, SMC, dan ISM**

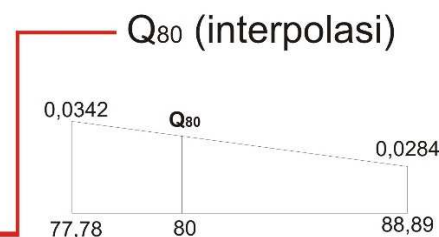
Parameter	Optimasi
k	0,924485
IGWS	100
WIC	0,719106
DIC	0,640729
SMC	48,33031
ISM	10

#### A.4. Analisis Debit Andalan

Setelah optimasi nilai IGWS, SMC, ISM, k, DIC, dan WIC didapat, lalu masukan nilai parameter tersebut dalam perhitungan debit DAS Curuk. Dalam menganalisis debit andalan untuk pembangkit listrik tenaga air digunakan kebutuhan air 80%.  $Q_{80}$  dicari dengan mengurutkan terlebih dahulu debit rata-rata (2001-2008) dari yang terbesar hingga terkecil (tabel 4.4). Kemudian hitung probabilitasnya dalam persen.  $Q_{80}$  merupakan debit rata-rata pada probabilitas 80%. Jika pada kolom probabilitas tidak ditemukan angka 80, maka dilakukan interpolasi untuk mendapatkan  $Q_{80}$ .

**Tabel 4.4 Debit dan Probabilitas**

Q rata-rata	Rangking	Probabilitas (%)
0,0575	1	11,11
0,0520	2	22,22
0,0481	3	33,33
0,0475	4	44,44
0,0421	5	55,56
0,0414	6	66,67
0,0342	7	77,78
0,0284	8	88,89



$$\begin{aligned}
 Q_{80} &= 0,0284 (80 - 77,78) + 0,0342 (88,89 - 80) / 88,89 - 77,78 \\
 &= 0,033048 \text{ m}^3/\text{s}
 \end{aligned}$$

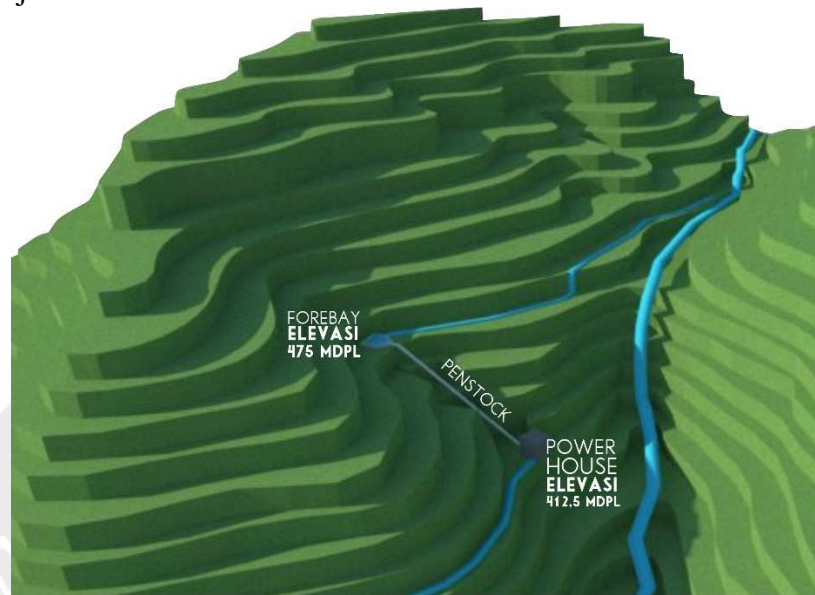
#### B. Tinggi Jatuh Efektif (*Head Efektif*)

Nilai elevasi *forebay* dan *power house* diketahui melalui representasi pada pemodelan 3 dimesni, sedangkan kehilangan energi dihitung melalui parameter koefisien kekasaran, kecepatan aliran, serta panjang dan diameter *penstock*.

##### B.1. Representasi Lokasi Komponen PLTMH

Setelah digambar pemodelan 3 dimensinya, diketahui bahwa saluran pembawa pada lokasi penelitian terbagi atas dua saluran. Air pada saluran pertama diambil dari Sungai Curuk yang telah dibendung, selanjutnya air akan dialirkan menuju terjunan alami. Dari terjunan alami, air akan masuk ke saluran pembawa kedua yang kemudian dialirkan ke sawah-sawah warga.

*Forebay* direncanakan dibangun di akhir saluran pembawa pertama, sedangkan *power house* dibangun diawal saluran pembawa kedua. Adapun lokasi *penstock* direncanakan berdiri di sepanjang terjunan alami.



**Gambar 4.2 Representasi lokasi komponen PLTMH**

### B.2. Kehilangan Energi

Dari pembacaan Grafik Moody diperoleh koefisien kekasaran ( $f$ ) sebesar 0,0225 dan panjang pipa *penstock* yang diukur dari pemodelan sama dengan 101,105 m. Dari perhitungan didapatkan diameter *penstock* ( $D$ ) = 0,15548 m, sedangkan kecepatan alirannya adalah 1,5389 m<sup>2</sup>/s. Sehingga kehilangan energi ( $H_f$ ) diketahui sebesar 1,76605 m.

### B.3. Perhitungan Head Efektif

Head Efektif merupakan selisih elevasi *forebay* (475 m) dengan *power house* (412,5 m) yang dikurangi dengan kehilangan energi (1,76605 m).

$$\begin{aligned} H_{eff} &= (475 \text{ m} - 412,5 \text{ m}) - 1,76695 \text{ m} \\ &= 60,73385 \text{ m} \end{aligned}$$

### C. Efisiensi Sistem

Dalam penelitian ini digunakan turbin tipe *Pelton Nozzles* yang memiliki efisiensi sebesar 0,9. Selain turbin, efisiensi sistem PLTMH terdiri atas efisiensi *penstock* (0,9), jaringan (0,9), Trafo (0,98), generator (0,8), sistem kontrol (0,97), dan konstruksi sipil (0,9957).

$$\begin{aligned} \text{Total efisiensi} &= 0,9 \times 0,9 \times 0,9 \times 0,98 \times 0,8 \times 0,97 \times 0,9957 \\ &= 0,552 \end{aligned}$$

### D. Daya Listrik Terbangkitkan

Daya listrik yang mungkin terbangkitkan dihitung berdasarkan parameter :

$$\begin{aligned} \text{Debit Andalan (Q)} &= 0,033048 \text{ m}^3/\text{s} \\ \text{Head Efektif (H}_{eff}\text{)} &= 60,73385 \text{ m} \\ \text{Efisiensi sistem (}\eta\text{)} &= 0,552 \\ \text{Gaya gravitasi} &= 9,81 \text{ m/s}^2 \\ P_{terbangkit} &= 0,033048 \times 60,73385 \times 0,552 \times 9,81 \\ &= 10,8689 \text{ kW} \end{aligned}$$

## E. Kebutuhan Listrik Padukuhan

Kebutuhan listrik Padukuhan Gorolangu terdiri dari 60 Kepala Keluarga dan fasilitas umum (sekolah dasar, masjid, serta gereja) ditunjukkan pada tabel 4.6. Rata-rata daya listrik terpasang di Padukuhan Gorolangu sebesar 450 W.

**Tabel 4.6 Daftar Pengguna Listrik Padukuhan Gorolangu**

No.	Nama	Daya Terpasang	No.	Nama	Daya Terpasang	No.	Nama	Daya Terpasang
1	Sunarto	450 W	22	Albani	450 W	43	Dedyk Diniatmoko	450 W
2	Wagimin	450 W	23	Hanafi	450 W	44	Kamsiyah	450 W
3	Sarwiji	450 W	24	Deni Rusmawan	450 W	45	Jemilah	450 W
4	Kusnan	450 W	25	Safe'i	450 W	46	Sudiwiyono	450 W
5	Dwi Purnomo	450 W	26	Arief Riyanto	450 W	47	Mujimin	450 W
6	Ny. Hartinah	450 W	27	Suwamtoko	450 W	48	Hadi Saputro	450 W
7	M.M. Suyatmi	450 W	28	Suwamijo	450 W	49	Ahmad Kaslan	450 W
8	Teguh Widodo	450 W	29	Widodo	450 W	50	Sabirin	450 W
9	Manab	450 W	30	Sismartono	450 W	51	Aris Marjuki	450 W
10	Rumijan	450 W	31	Arjo Sar	450 W	52	Sujilan	450 W
11	Rumijo	450 W	32	Mangku Suwarno	450 W	53	Winarsih	450 W
12	Rumidi	450 W	33	Suwaryono	450 W	54	Suyanto	450 W
13	Marto Sudiyo	450 W	34	Anjar	450 W	55	Ngadiran	900 W
14	Jemingun	450 W	35	Budiantoro	450 W	56	Surajiman	900 W
15	Wahidin	450 W	36	Saebani	450 W	57	Sudirlan	900 W
16	Suraji	450 W	37	Markaban	450 W	58	Suwarno	900 W
17	Parjimin	450 W	38	Sapari	450 W	59	Slamet Widodo	900 W
18	Onyk	450 W	39	Zainudin	450 W	60	Kaelani	900 W
19	Siswanto	450 W	40	Anas	450 W	61	Sekolah Dasar	900 W
20	Ari Dwi Murwanto	450 W	41	Masduki	450 W	62	Masjid	900 W
21	Sajilan	450 W	42	Affandi	450 W	63	Gereja	900 W

## 5. KESIMPULAN DAN SARAN

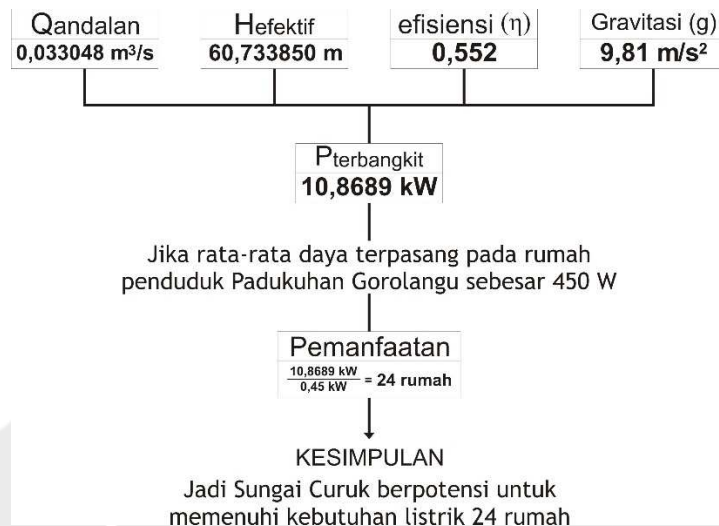
### A. Kesimpulan

Potensi Sungai Curuk sebagai Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH) diketahui melalui besarnya daya listrik yang mungkin terbangkitkan. Daya listrik terbangkitkan itu nantinya akan digunakan untuk memenuhi kebutuhan listrik Padukuhan Gorolangu.

Daya listrik terbangkitkan dapat dihitung dengan perkalian debit andalan, *head* efektif, efisiensi sistem, dan gaya gravitasi ( $9,81 \text{ m/s}^2$ ). Debit pada Sungai Curuk dicari melalui Metode Mock yang memperhitungkan hujan, evapotranspirasi, serta aliran bawah tanah (*base flow*). Debit andalan yang digunakan untuk pembangkit listrik dianalisis sebesar 80%, sehingga diperoleh  $Q_{80} = 0,033048 \text{ m}^3/\text{s}$ .

Selain debit, parameter lain yang dihitung adalah *head* efektif yang didapat dari representasi komponen PLTMH pada pemodelan tiga dimensi peta topografi. Setelah selisih elevasi *forebay* (475 m) dengan *power house* (412,5 m) dikurangi kehilangan energi (1,76605 m), maka didapat *head* efektif sebesar 60,73385 m.

Nilai efisiensi sistem yang terdiri dari efisiensi konstruksi sipil, *penstock*, generator, trafo, turbin, dan sistem kontrol didapatkan 0,552. Jika semua parameter tersebut dikalikan, diperoleh daya listrik terbangkit sebesar 10,8689 kW. Nilai ini dapat memenuhi kebutuhan listrik 24 rumah warga yang memiliki rata-rata daya terpasang 450 W. (Gambar 5.1)



**Gambar 5.1 Kesimpulan Penelitian**

### **B. Saran**

Pemenuhan kebutuhan listrik di Padukuhan Gorolangu melalui PLTMH dapat dimanfaatkan lebih banyak kepala keluarga dengan melakukan rekayasa hidrolika. Dalam mendapatkan debit yang kontinu dapat dilakukan peninggian bendung dan tampungan air. Selain itu, penempatan *forebay*, *penstock*, dan *power house* dapat dilakukan pada lokasi lain, sehingga mendapatkan tinggi jatuh efektif yang lebih besar. Perhitungan rekayasa hidrolika ini dapat diteruskan pada penelitian selanjutnya.



## DAFTAR PUSTAKA

- Allen, R.G., Luis, S.P., Dirk, R., and Martin, S. 1990. *FAO Irrigation and Drainage Paper No. 56*.
- Adinigrum, C. 2010. Analisis Ketersediaan Air Menggunakan Model Mock : Studi Kasus DAS Bedog, DAS Code, dan DAS Winongo Daerah Istimewa Yogyakarta. *Tugas Akhir. Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta*.
- Anonim. 2004. *Guide on How to Develop a Small Hydropower Plant*. European Small Hydropower Association (ESHA).
- Anonim. 2005. *Manual Pembangunan Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH)*. Institut Bisnis dan Ekonomi Kerakyatan. Jakarta.
- Database Badan Perencanaan Pembangunan Daerah (Bappeda) Kab. Kulon Progo tahun 2010
- Data Statistik Direktorat Jenderal Energi Baru Terbarukan dan Konservasi Energi Tahun 2009
- Direktorat Pengairan dan Irigasi Kementerian Negara Perencanaan Pembangunan Nasional. 2006. *Laporan Akhir Buku 2 Identifikasi Masalah Pengelolaan Sumber Daya Air di Pulau Jawa*. Badan Perencanaan Pembangunan Nasional
- Jorde, K. Hartmann, E. Unger, H. 2010. *Baik & Buruk dari Mini/Mikro Hidro Volume 1*. Integrated Microhydro Development and Application Program (IMIDAP). Jakarta
- Kadir, R. 2010. Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH) di Sungai Maripa Kecamatan Pnembani. *Tugas Akhir Fakultas Teknik, Universitas Tadulako, Palu*.
- Kurniawan, A. dkk. 2009. *Pedoman Studi Kelayakan Hidrologi*. Integrated Microhydro Development and Application Program (IMIDAP)
- Kurniawan, A. dkk. 2009. *Pedoman Studi Kelayakan Sipil*. Integrated Microhydro Development and Application Program (IMIDAP)
- Kurniawan, A. dkk. 2009. *Pedoman Studi Kelayakan Mekanikal Elektrikal*. Integrated Microhydro Development and Application Program (IMIDAP)
- Kurniawan, A. dkk. 2009. *Pedoman Studi Potensi (Pra Kelayakan Potensi)*. Integrated Microhydro Development and Application Program (IMIDAP)
- Kusdiana, D dkk. 2008. *Pedoman Teknis Standardisasi Peralatan dan Komponen Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH)*. Integrated Microhydro Development and Application Program (IMIDAP)
- Mock, F.J. 1973. *Land Capability Appraisal Indonesia Water Availability Appraisal*. Indonesia UNDP/FAO. Bogor.
- Tim Contained Energy Indonesia. 2008. *Panduan Energi yang Terbarukan*. Program Nasional Pemberdayaan Masyarakat.
- Triatmodjo, B. 2010. *Hidrolika II*. Beta Offset. Yogyakarta.
- Triatmodjo, B. 2008. *Hidrologi Terapan*. Beta Offset. Yogyakarta.
- Peraturan Presiden Nomor 5 Tahun 2005 mengenai Kebijakan Energi Nasional

Pedoman Teknis Puslitbang SDA No. PD T-22-2004

Soemarto. 1986. *Hidrologi Teknik*. Usaha Nasional. Surabaya.

Sucahyo, I. 2005. Aplikasi Alogaritma Genetika Untuk Optimasi Parameter Model Hujan Aliran Mock. *Tugas Akhir. Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.*

Sujono, J. dkk.. 1998. Optimasi Parameter Model Hujan-Aliran Mock dengan Solver. *Media Teknik No.2 Tahun XX Edisi Mei 1998 No. 1998 No. ISSN 0216-3012.*

